Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 4, Winter 2024, p. 639-653

The Effect of Foliar Application of Calcium Chloride, Ascorbic Acid and Harvest Time on Fruit Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD)

Z. Khalili[1], F. Nekounam[2]*, T. Barzegar[3], Z. Ghahremani[3], M. Farhangpour[1]

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, respectively
(*- Corresponding Author Email: nekounam@znu.ac.ir)

Received: 05-05-2023 Revised: 18-07-2023 Accepted: 09-08-2023 Available Online: 12-08-2023	**How to cite this article:** Khalili, Z., Nekounam, F., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Farhangpour, M. (2024). The effect of foliar application of calcium chloride, ascorbic acid and harvest time on fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD). *Journal of Horticultural Science, 38*(4), 639-653. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82265.1265

Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) belongs to the Solanaceae family, which is one of the most widely cultivated and economically important vegetables in the world, which is an excellent source of ascorbic acid and has high antioxidant capacity against oxidative damage caused by free radicals. Ascorbic acid (AsA) is a water-soluble vitamin that plays a key physiological role in scavenging reactive oxygen species (ROS), and enzyme cofactor. Ascorbic acid is antioxidant and anti-stress agent, and also acts as a signaling molecule in some plant physiological processes and defense mechanisms. Positive roles of such antioxidants in scavenging or chelating the free radicals and activating the natural resistance against different biotic and abiotic stresses have been reported in several fruit trees. Calcium has a vital role for normal growth and development of plants due to an important role in balancing membrane structures, increasing nutrient uptakes and activates of metabolic processes. Calcium plays a vital role in maintains cell wall stability, integrity and determining the fruit quality. To our knowledge, however, little information is available regarding the interaction effect of ascorbic acid and calcium chloride on tomato. Thus, the aim of this study was to investigate the foliar application of ascorbic acid and calcium chloride on quality and antioxidant capacity of tomato fruit.

Materials and Methods

To study the effect of foliar application of calcium chloride (Ca) and Ascorbic acid (AsA) on growth, yield and fruit quality of tomato, the field experiment was carried out from June to September 2021 at Research farm of faculty of Agriculture, at the University of Zanjan, Iran. Each treatment was carried out with three replicates. Different concentrations of Ca (0, 0.3, 0.6 and 0.9 %) and AsA (0, 100, 200 and 300 $mg.l^{-1}$) were sprayed three times (0, 15, 30 days after full bloom). Fruits were harvested at two harvests stage (orange and red color) and transferred to the laboratory on the same day. Flesh firmness was determined with penetrometer (model Mc Cormic FT 32), using an 8 mm penetrating tip. Results were expressed in kg cm-2. The pH values of solutions were monitored with pH meter. TSS was measured in the extract obtained from three fruit of each replicate with a digital refractometer Atago PR-101 (Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan) at 20◦C. Total ascorbic acid content was expressed as mg per 100 g of juice. Antioxidant activity was measured using the free radical scavenging activity (DPPH) and calculated according to the following formula: RSA%= 100(Ac-As)/Ac. Statistical analyses were performed with SPSS software package v. 20.0 for Windows, and means comparison were separated by Duncan's multiple range tests at $p< 0.05$.



https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82265.1265

Results and Discussion

The results showed that fruit harvested at red color stage had higher vitamin C, total soluble solid (TSS), total phenol, flavonoids contents and antioxidant capacity compared to fruit harvested at orange color stage. Foliar application of AsA and Ca had significantly improved tomato fruit quality. The highest value of TSS (4.9 °B), vitamin C (46.1 $mg.100\ ml^{-1}$), total phenol and flavonoids contents and antioxidant capacity (36%) was achieved with application of 300 $mg.l^{-1}$ AsA and 0.9% Ca in fruit harvested at red color harvest time. The lowest value of pH and highest TA was observed in red color fruit treated with 300 $mg.l^{-1}$ AsA and all Ca levels. Ca had significant effect on fruit firmness, which the highest fruit firmness was obtained from 0.9% Ca. The fresh tomato is an important source of ascorbic acid for human consumption. AsA significantly increased the amount of vitamin C in the plum and sweet pepper fruits. Increasing vitamin C content in fruits after treatment with Ca could be related to inhibiting action of calcium on the activities of ascorbic acid oxidase that use ascorbate as a substrate. The results indicated that treatment of Ca produced fruits with higher firmness compared to control and other treatments. Firmness and resistance to softening can be increased by the addition of Ca, due to interaction of calcium with pectate acid in the cell wall to form calcium pectate and retarding polygalacturonase activity. Differences in the percentage of TSS content at the time of harvest indicated the AsA and Ca effects on carbohydrate accumulation in fruits, which had different potential on respiration rates and consequently storability of plants. The antioxidant activity has positive correlation with total phenolic content, flavonoids and content of ascorbic acid.

Conclusions

The results of our research indicated that per-harvest foliar application of AsA and Ca improved fruit quality attributes including vitamin C, fruit firmness, TSS and antioxidant activity. These results suggest that AsA and Ca treatments, especially AsA 300 $mg.l^{-1}$ and Ca 0.9%, may be proposed to improve fruit quality.

Keywords: Antioxidant capacity, Fruit firmness, Phenolic compounds, Vitamin C

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣، ص. ٦٥٣-٦٣٩

اثر محلول‌پاشی کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک و زمان برداشت بر صفات کیفی میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD)

زهرا خلیلی[1]- فاطمه نکونام[2]*- طاهر برزگر[3]- زهرا قهرمانی[3]- ملیحه فرهنگ پور[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸

چکیده

به‌منظور مطالعه تأثیر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید و زمان برداشت بر کیفیت میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L. SV8320TD)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل اسیدآسکوربیک در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و کلسیم‌کلرید در چهار سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد) و زمان برداشت میوه در دو مرحله نارنجی و قرمزرنگ بود. نتایج نشان داد که میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمزرنگ دارای ویتامین ث، مواد جامد محلول، فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در مقایسه با میوه‌های نارنجی‌رنگ بودند. کاربرد اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید به‌طور فزاینده‌ای کیفیت میوه را بهبود بخشیدند. بیشترین میزان سفتی بافت (۲۱/۷ و ۲۱/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر) به‌ترتیب در میوه‌های نارنجی‌رنگ تحت تیمار اسیدآسکوربیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد و میوه‌های قرمزرنگ حاصل از تیمار اسیدآسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد به‌دست آمد. حداکثر مقدار مواد جامد محلول (۴/۹ درصد بریکس)، ویتامین ث (۴۶/۱ ملی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، فنل و فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۳۶ درصد) در میوه‌های قرمزرنگ حاصل از گیاهان تیمار شده با اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد مشاهده شد. کمترین میزان اسیدیته و حداکثر اسید قابل تیتراسیون با کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همه سطوح کلسیم‌کلرید در میوه‌های قرمزرنگ حاصل شد. با توجه به نتایج، کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد جهت بهبود شاخص‌های کیفی میوه گوجه‌فرنگی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات فنلی، سفتی بافت میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) گیاهی چندساله متعلق به خانواده Solanacea که در مناطق معتدل به‌صورت یک‌ساله کشت‌وکار می‌شود (Nizamani *et al*., 2020). میوه گوجه‌فرنگی منبع مهمی از ویتامین‌های A و C، املاح کلسیم و پتاسیم و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها و لیکوپن است و به‌صورت تازه‌خوری و فرآوری قابل مصرف می‌باشد.

کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی تحت تأثیر عوامل متعدد قبل و بعد از برداشت است. از جمله مهم‌ترین عوامل پیش از برداشت، شرایط محیطی که بوته‌های گوجه فرنگی در آن رشد می‌کنند و همچنین مرحله رسیدن میوه در هنگام برداشت، بیشترین تأثیر را بر کیفیت میوه دارند (Kacjan *et al*., 2011). گوجه‌فرنگی به‌عنوان یک میوه فرازگرا، می‌تواند در مراحل مختلف بلوغ شامل سبز بالغ، رنگ‌اندازی، تغییر رنگ، صورتی و مرحله قرمزرنگ برداشت شود. این مراحل بلوغ به‌طور قابل توجهی بر فرآیند فیزیولوژیکی میوه، کیفیت پس از برداشت و ویژگی‌های حسی پس از برداشت تأثیر می‌گذارند (Tolasa *et al*., 2021).

میوه گوجه‌فرنگی به‌علت بافت نرم و آبکی در زمان برداشت، از فسادپذیری بالایی برخوردار است. مخصوصاً زمانی‌که میوه رسیده و نرم بوده، فاصله محل تولید تا مصرف زیاد باشد و شرایط حمل‌ونقل و نگهداری مناسب نباشد، درصد ضایعات میوه افزایش می‌یابد. هر اندازه

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
(*- نویسندهٔ مسئول: Email: nekounam@znu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.82265.1265

سفتی بافت میوه زیاد باشد، ماندگاری میوه بهتر بوده و از ضایعات کمتری برخوردار خواهد بود (EL-Katatny *et al*., 2012).

کلسیم به‌عنوان ماده مغذی ضروری گیاه با افزایش سفتی میوه، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی، به تأخیر انداختن فرآیند توسعه رنگ و افزایش ماندگاری در شرایط نگهداری، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های کیفی فیزیکی و فیزیولوژیکی میوه‌های گوجه‌فرنگی دارد. اعتقاد بر این است که سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعدد میوه‌های گوجه‌فرنگی با افزایش سطوح یون کلسیم (Ca^{+2}) در میوه با کاهش سرعت تنفس و تولید اتیلن کنترل می‌شوند (Mazumder *et al*., 2021). جذب، انتقال و توزیع کلسیم در درون گیاه تحت تأثیر عوامل مختلف بیولوژیکی، اقلیمی و خاک است. به‌دلیل حرکت کند کلسیم در آوندهای چوبی و توزیع غیریکنواخت در اندام‌های مختلف گیاه، کمبود آن به‌وفور در میوه‌ها مشاهده می‌شود. غلظت پایین کلسیم در بافت میوه دلیل بسیاری از ناهنجاری‌های فیزیولوژیک به‌خصوص پوسیدگی گلگاه میوه است (Sarwat *et al*., 2013). محلول‌پاشی کود مؤثرترین راه برای بهبود وضعیت تغذیه گیاهان است، بنابراین لازم است با روش‌هایی همانند محلول‌پاشی، مقدار کلسیم را در میوه‌ها افزایش داد. یافته‌های یک پژوهش نشان داد که استفاده از منابع مختلف کلسیم، محتوای قند کل، ویتامین ث و کارتنوئید را در میوه‌های فلفل شیرین (*Capcicum annuum* L.) افزایش داد (Buczkowska *et al*., 2016). تیمار قبل و پس از برداشت کلسیم موجب افزایش عملکرد، حفظ کیفیت، کاهش نشت یونی و افزایش سفتی کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. italica) شد (Kou, 2015). محلول‌پاشی قبل از برداشت لاکتات کلسیم در گیاه فلفل دلمه‌ای، محتوای ویتامین ث و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar *et al*., 2018). تیمار قبل از برداشت کلسیم‌کلرید در گوجه‌فرنگی با افزایش محتوای اسیدآسکوربیک، کاروتنوئید، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، باعث بهبود کیفیت میوه شد (Mazumder *et al*., 2021). همچنین محلول‌پاشی کلسیم کربنات باعث افزایش عملکرد قابل فروش، محتوای ویتامین ث، ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی شد (Patane *et al*., 2018).

اسیدآسکوربیک به‌عنوان یک محرک زیستی رشد گیاه شناخته شده است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیسمی مانند سنتز پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و آنزیم‌ها نقش دارد (Smirnoff, 2011). اسیدآسکوربیک (ویتامین ث) یک ترکیب ضروری برای بافت‌های گیاهی است، زیرا دارای عملکرد آنتی‌اکسیدانی است و به‌عنوان کوفاکتور آنزیمی و تنظیم‌کننده رشد گیاه عمل می‌کند. اسیدآسکوربیک همچنین نقش مهمی در فرآیندهای مختلف مانند فتوسنتز، تقسیم و تمایز سلولی و محافظت در برابر تنش‌های محیطی ایفا می‌کند (Fenech *et al*., 2019).

اسیدآسکوربیک یکی از ترکیبات مهم در میوه گوجه‌فرنگی، نه‌تنها به‌عنوان ویتامین در متابولیسم طبیعی یاخته‌ها نقش دارد، بلکه به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی باعث خنثی شدن رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو می‌شود و عملکرد و کیفیت سبزی‌ها و میوه‌ها را بهبود می‌بخشد (Minutolo *et al*., 2020). در سال‌های اخیر، کاربرد خارجی اسیدآسکوربیک به‌عنوان یک مولکول بیولوژیکی ایمن برای حفظ کیفیت پس از برداشت محصولات باغبانی مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد برگی اسیدآسکوربیک در فلفل دلمه‌ای، رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه به‌خصوص محتوای ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد (Barzegar *et al*., 2018). کاربرد برگی اسیدآسکوربیک در گوجه‌فرنگی، عملکرد را افزایش داد و با کاهش تجمع پراکسید هیدروژن و مالین دی‌آلدئید و پراکسیداسیون لیپیدی غشاء، به‌طور مؤثری تنش اکسیداتیو را در گیاه کاهش داد (Ashibur Rahman *et al*., 2021).

بااین‌حال، طبق بررسی‌های صورت گرفته، اطلاعات کمی در مورد تأثیر برهم‌کنش اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید قبل از برداشت بر کیفیت میوه‌های گوجه‌فرنگی در دسترس است. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید بر ویژگی‌های کیفی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوجه‌فرنگی در زمان برداشت بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان در سال ۱۴۰۰ انجام شد. اوایل خرداد ماه نشاءهای گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* cv. SV8320TD) در مرحله چهار – پنج برگی با فاصله بین ردیف‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در مزرعه کشت شدند. تیمارهای آزمایشی شامل اسیدآسکوربیک در چهار سطح (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و کلسیم‌کلرید در چهار سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد) بود و هر واحد آزمایش شامل شش بوته بود (Rab & Haq, 2012; Najafi & Barzegar, 2022). پس از استقرار اولیه گیاهان، اولین محلول‌پاشی کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک در شروع گل‌دهی صورت گرفت و دو بار با فاصله ۱۵ روز یک‌بار در طول دوره گل‌دهی و رشد میوه‌ها تکرار شد. نتایج حاصل از تجزیه خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. سیستم آبیاری (قطره‌ای-نواری) و دوره آبیاری دو روز یک‌بار بود و در طول فصل رشد، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table1- Soil physical and chemical parameters of the experiment location

بافت خاک Soil texture	ماده آلی (٪) Organic material (%)	نیتروژن (٪) Nitrogen (%)	کلسیم (گرم بر کیلوگرم) Calcium ($g.kg^{-1}$)	سدیم (گرم بر کیلوگرم) Sodium ($g.kg^{-1}$)	پتاسیم (گرم بر کیلوگرم) Potassium ($g.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
لوم رسی Lomy clay	0.94	0.07	0.12	0.13	0.20	1.49	7.4

صفات مورد ارزیابی

میوه‌های گوجه‌فرنگی در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ برداشت گردید و صفات کیفی آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت.

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پنترومتر مدل (OSK 1618) با پروب به قطر سه میلی‌متری روی سه عدد میوه انجام شد. آزمون سفتی بافت در هر تکرار از دو سمت مقابل هم و از روی پوست میوه انجام شد. سفتی بافت براساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ میله (تا محل مشخص شده) در میوه برحسب کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع بیان شد (Jalili Marandi, 2012).

محتوای مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO Brixo-32%) بر حسب درصد بریکس اندازه‌گیری شد (Mostofi & Najafi, 2014) برای اندازه‌گیری اسیدیته میوه از عصاره تهیه شده از گوشت میوه استفاده گردید و قرائت آن با استفاده از pHمتر مدل (Consort-c863) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری اسید کل (TA) از تیتراسیون با سدیم هیدروکسید استفاده گردید. بدین منظور، ۱۰ میلی‌لیتر آب میوه با ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به حجم رسانیده و سپس سه قطره معرف فنل فتالئین به آن اضافه شد. محلول حاصل با سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال تیتر گردید و عمل تیتر کردن تا پایان ظهور رنگ صورتی پایدار ادامه یافت. در نهایت، حجم هیدروکسید مصرفی (V) ثبت گردید. مقدار اسید کل به‌صورت درصد اسید قابل تیتراسیون میوه بر حسب اسیدسیتریک مطابق با معادله ۱ محاسبه شد (Jalili Marandi, 2012).

$$TA\% = (V\times0.0064\times100)/5 \quad (۱)$$

میزان اسیدآسکوربیک (ویتامین ث) موجود در عصاره میوه به‌روش یدومتریک اندازه‌گیری شد. ۱۰ میلی‌لیتر عصاره میوه در ظرف ریخته و روی آن دو میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد (یک گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد) اضافه گردید. محلول حاصل با محلول ید (۱/۲۶۹ گرم ید + ۱۶/۶ گرم یدید پتاسیم را مخلوط کرده و سپس به حجم یک لیتر رسانده)، تیتر گردید و عمل تیتراسیون تا تشکیل رنگ خاکستری روشن ادامه یافت. برای محاسبه اسیدآسکوربیک عصاره میوه از معادله ۲ استفاده شد (Jalili Marandi., 2012).

$$A=SNF*88.1 \times 100/10 \quad (۲)$$

که در آن، A: میزان اسیدآسکوربیک در عصاره میوه (۱۰۰ میلی‌لیتر بر میلی‌گرم)، S: مقدار محلول ید مصرف شده، N: نرمالیته محلول ید مصرف شده (۰/۰۱)، F: فاکتور محلول ید مصرف شده و ۸۸/۱: عدد ثابت است.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل میوه به‌روش کیجو (Kaijv *et al*., 2006) انجام گردید. برای تهیه عصاره، یک گرم از بافت میوه با استفاده از متانول ۸۰ درصد سابیده و به حجم هشت میلی‌لیتر رسانده شد. با اضافه کردن $NaNO_2$، $AlCl_3$ و NaOH یک مولار به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده و جذب محلول پس از پنج دقیقه در طول موج ۵۰۷ نانومتر خوانده شد.

محتوای فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سیکالتو (Folin Ciocalteau) استفاده گردید. برای این منظور، ۰/۱ میلی‌لیتر از نمونه‌های رقیق شده همراه با دو میلی‌لیتر Na_2Co_3 دو درصد در لوله آزمایش ریخته شد و به‌مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنشگر فولین سیکالتو ۵۰ درصد به آن اضافه گردید. مخلوط واکنش به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری و سپس میزان جذب آن در طول موج ۷۲۰ نانومتر خوانده شد (Singleton *et al*., 1965).

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش رادیکال‌های آزاد DPPH استفاده و برحسب درصد با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد (Dehghan *et al*., 2012).

(۳) = ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

100 × جذب DPPH /(جذب نمونه− جذب DPPH)

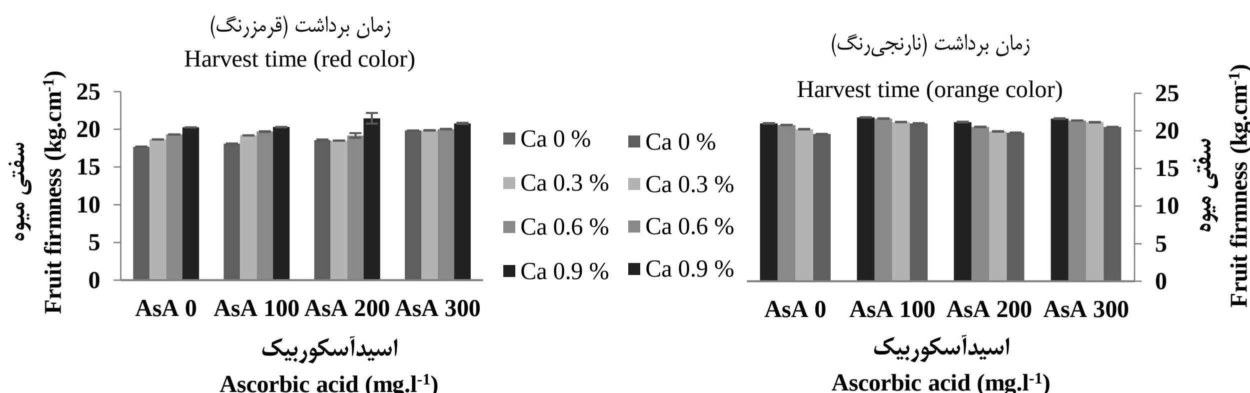
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 انجام شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه گردید. رسم نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

سفتی بافت میوه

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثرات برهم‌کنش تیمارهای اسیدآسکوربیک، کلسیم‌کلرید و زمان برداشت بر میزان سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود. با توجه به نتایج، میوه‌های

شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی‌رنگ (۱۹/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر) نسبت به قرمزرنگ (۱۷/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر) بافت سفت‌تری داشتند. کاربرد کلسیم به‌طور معنی‌داری سفتی بافت میوه را بهبود بخشید. بیشترین میزان سفتی بافت (۲۱/۷ و ۲۱/۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر) به‌ترتیب در میوه‌های نارنجی‌رنگ تحت تیمار اسیدآسکوربیک ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ و ۰/۶ درصد و میوه‌های قرمزرنگ حاصل از تیمار اسیدآسکوربیک ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد به‌دست آمد (شکل ۱) که در مقایسه با میوه‌های گیاهان شاهد باعث افزایش حدود ۱۰ درصد سفتی بافت میوه شد.



شکل ۱- اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید بر سفتی بافت میوه گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 1- The interaction effect of foliar spray of ascorbic acid (AsA) ×calcium chloride (Ca) on the fruit firmness of tomato harvested at two red and orange stages (DMRT, *p*≤ *0.05*)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک بر صفات کیفی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Table 2- ANOVA for the effect of foliar application of calcium chloride and ascorbic acid on the tomato fruit quality traits harvested at two red and orange stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سفتی بافت میوه Fruit firmness	مواد جامد محلول Total soluble solids	اسیدیته pH	اسید قابل تیتراسیون Titratable acidity
بلوک Block	2	0.105	1.093	0.010	0.00003
اسیدآسکوربیک Ascorbic acid (AsA)	3	4.415ns	1.130**	0.128**	0.0006**
کلسیم‌کلرید Calcium chloride (Ca)	3	1.835**	0.218*	0.042ns	0.0008ns
زمان برداشت Harvest time (H)	1	56.779**	4.463**	0.235**	0.026**
AsA x Ca	9	3.061**	0.785**	0.038*	0.0015**
AsA × H	3	2.018**	0.105*	0.016**	0.0006**
Ca × H	3	2.573*	0.503**	0.004ns	0.0011ns
AsA × Ca × H	9	1.103**	0.234*	0.033**	0.0018**
خطا Error	62	0.057	0.109	0.018	0.000022
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	1.19	8.35	2.81	3.05

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

سفتی بافت میوه، یکی از ویژگی‌های کیفی مهم میوه گوجه‌فرنگی است و با تغییرات کمّی و کیفی مواد پکتینی در مراحل مختلف رسیدگی ارتباط مستقیم دارد (Esfahani *et al*., 2018). در طول رسیدن، سفتی میوه به‌دلیل فعالیت آنزیم‌های پلی گالاکتوروناز و گلوکوزیداز کاهش می‌یابد (Sabir & Agar, 2011). کاربرد قبل از برداشت کلسیم‌کلرید بر میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در مراحل مختلف بلوغ از مرحله رنگ‌اندازی تا قرمزرنگ نشان داد که سفتی بافت میوه از مرحله رنگ‌اندازی تا قرمزرنگ کاهش یافت و همچنین با افزایش غلظت کلسیم‌کلرید، سفتی بافت میوه افزایش یافت (Tolasa *et al*., 2021). تأثیر کلسیم بر افزایش سفتی و بهبود خصوصیات فیزیکی میوه به‌دلیل تأثیر این عنصر در تشکیل دیواره سلولی و استحکام غشاء سلولی می‌باشد. پایداری دیواره سلولی و غشاء، ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد. کلسیم به‌صورت پکتات کلسیم در تیغه میانی برای استحکام دیواره سلولی ضروری است و افزایش استحکام بافت در اثر کلسیم گزارش شده است (Cooper *et al*., 2007; Singh *et al*., 2007). کاربرد کلسیم‌کلرید دو درصد باعث حفظ سفتی بافت میوه هلو (*Prunus persica* cv. Swelling) شد (El-Shazly *et al*., 2013). تأثیر کلسیم در افزایش سفتی میوه فلفل گزارش شده است (Rubio *et al*., 2009). براساس نتایج برزگر و همکاران (Barzegar *et al*., 2018) کاربرد برگی اسیدآسکوربیک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و کلسیم‌لاکتات (۱/۵ گرم در لیتر)، سفتی بافت میوه فلفل دلمه‌ای را بهبود بخشیدند. همچنین، لیو و همکاران (Liu *et al*., 2014) دریافتند که تیمار ۴۰ میلی‌مولار اسیدآسکوربیک به‌طور قابل توجهی کاهش سفتی میوه آلو (*Prunus salicina* Lindley. cv. Sanhuali) را به تأخیر انداخت. پیشنهاد شده است که اثرات تیمار اسیدآسکوربیک در به تأخیر انداختن نرم شدن میوه و همچنین بهبود کیفیت پس از برداشت ممکن است به‌دلیل کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاء با افزایش ظرفیت سلول‌ها برای حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن و کاهش تنفس میوه‌ها باشد.

مواد جامد محلول

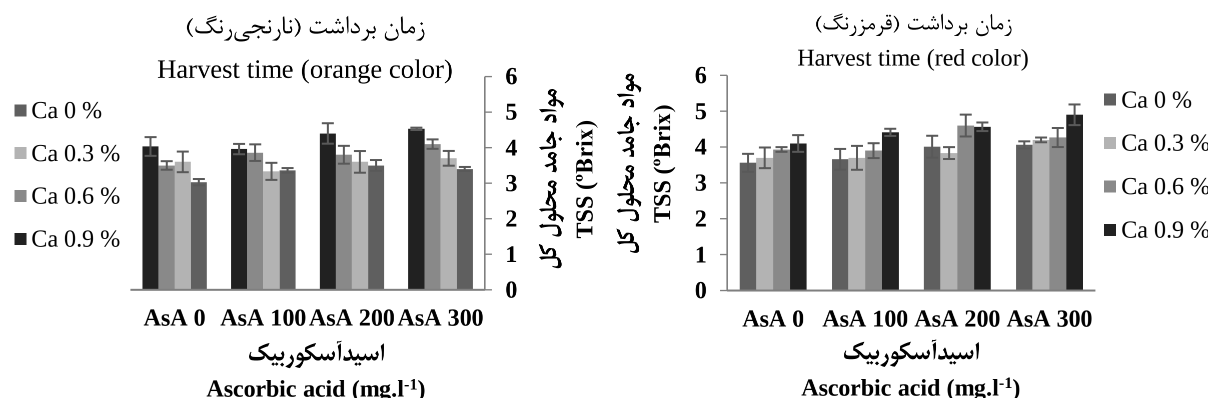
کاربرد اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید تأثیر معنی‌داری بر محتوای مواد جامد محلول میوه داشت (جدول ۲). با توجه به نتایج، میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمزرنگ، مواد جامد محلول بیشتری داشتند و کاربرد کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک تأثیر مثبت بر مقدار مواد جامد محلول میوه نشان دادند (شکل ۲)، به‌طوری¬که کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم ۰/۹ درصد در میوه‌های قرمزرنگ باعث افزایش ۲۷/۳ درصد مقدار مواد جامد محلول کل میوه در مقایسه با شاهد شد.

کیفیت تغذیه‌ای میوه گوجه‌فرنگی تحت تأثیر شرایطی که گیاه گوجه‌فرنگی رشد می‌کند و مرحله رسیدن میوه در زمان برداشت قرار دارد. میوه‌هایی که در مرحله اول بلوغ برداشت شدند در مقایسه با میوه‌هایی که در مرحله رسیده کامل برداشت شدند، مواد جامد محلول کمتری داشتند (Kacjan *et al*., 2011). با توجه به بررسی‌های انجام شده، اثر کلسیم بر مواد جامد محلول متغیر است، به‌طوری¬که گزارش شد تیمار پس از برداشت کلسیم‌کلرید دو درصد، تأثیر معنی‌داری بر افزایش مواد جامد محلول میوه ازگیل ژاپنی (*Mespilus germanica* L.) داشته است (Akhtar *et al*., 2010). محلول‌پاشی برگی کلسیم‌کلرید ۰/۶ درصد همراه با بوراکس در گوجه‌فرنگی موجب افزایش مقدار مواد جامد محلول کل میوه شد (Rab & Haq, 2012). گزارش شده است که تیمار کلسیم‌کلرید در گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری بر مقدار مواد جامد محلول کل میوه نداشت، ولی در غلظت‌های بالا (۱/۵ و ۲ درصد) تا حدودی باعث کاهش مقدار مواد جامد محلول شد (Mazumder *et al*., 2021). کاربرد کسیم‌لاکتات ۱/۵ گرم در لیتر، در کاهو (*Lactuca sativa* L.) باعث افزایش مواد جامد محلول گردید. کلسیم باعث کاهش سرعت تنفسی و جلوگیری از فرآیند تجزیه و شکستن کربوهیدرات‌ها شده و این حالت باعث حفظ مواد جامد محلول میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود (Khani *et al*., 2020). تفاوت در محتوای مواد جامد محلول میوه گیاهان تیمار شده با کلسیم در زمان برداشت نشان‌دهنده اثرات کلسیم بر تجمع کربوهیدرات در میوه‌ها بود که پتانسیل متفاوتی بر تنفس و در نتیجه، انبارمانی میوه‌ها داشت (Barzegar *et al*., 2018). گزارش شده است که تیمار اسیدآسکوربیک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را بر محتوای مواد و جامد محلول میوه فلفل دلمه‌ای داشت (Fateh *et al*., 2019). محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک باعث افزایش مواد جامد محلول در میوه‌های فلفل شیرین شد (Mohammed, 2013). افزایش میزان مواد جامد محلول و قند کل با محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک روی میوه‌های گلابی (*Pyrus communis* L.) گزارش شده است (Hafez *et al*., 2010).

اسیدیته (pH) و اسید قابل تیتراسیون (TA)

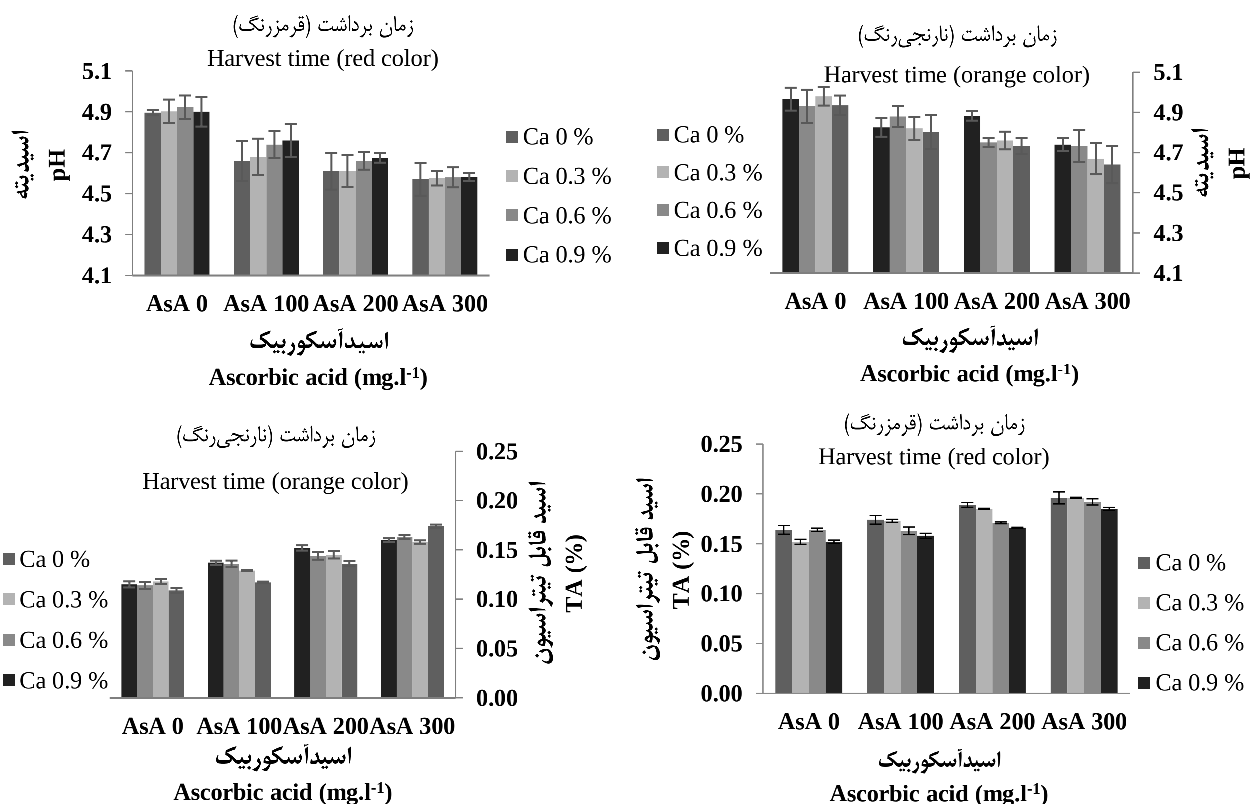
شکل ۳، اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید و زمان برداشت را بر میزان اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون میوه‌های گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد. میزان اسیدیته در میوه‌های نارنجی و قرمزرنگ شاهد تیمار نشده تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در گیاهان محلول‌پاشی شده با اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید، مقدار اسیدیته در میوه نارنجی‌رنگ به‌طور معنی‌داری بیشتر از میوه‌های قرمز بود. محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک میزان اسیدیته میوه را کاهش داد. حداقل اسیدیته در میوه‌های قرمزرنگ حاصل از گیاهان تحت محلول‌پاشی

اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و تمامی سطوح کلسیم‌کلرید حاصل شد (شکل ۳). برعکس میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های قرمزرنگ بیشتر از میوه‌های نارنجی بود و کاربرد اسیدآسکوربیک، میزان اسید قابل تیتراسیون میوه را افزایش داد. تیمار اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در میوه‌های قرمزرنگ، اسید قابل تیتراسیون را ۲۲/۵ درصد در مقایسه با میوه گیاهان تحت تیمار اسیدآسکوربیک صفر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد کاهش داد (شکل ۳).



شکل ۲- اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید بر مواد جامد محلول میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 2- The interaction effect of foliar spray of ascorbic acid (AsA) × calcium chloride (Ca) on the total soluble solids (TSS) content of tomato fruits harvested at two red and orange stages (DMRT, $p\leq 0.05$)



شکل ۳- اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید بر اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 3- The interaction effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) ×calcium chloride (Ca) on pH and titratable acidity (TA) of tomato fruits harvested at two red and orange stages (DMRT, $p\leq 0.05$)

اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به غلظت اسیدهای آلی (عمدتاً اسیدسیتریک) موجود در میوه‌ها به‌صورت اسید آزاد، آنیون یا ترکیب شده به‌صورت نمک است که در طول رسیدن تحت تأثیر فرایند تنفس و تبدیل آن‌ها به قند کاهش می‌یابد (Cheng *et al.*, 2017). اسیدآسکوربیک به‌علت ماهیت اسیدی و با تأخیر در فرآیند تنفس باعث افزایش و حفظ اسیدیته کل قابل تیتراسیون گردید (Elahviren Osalu *et al.*, 2016). گزارش شده است که در گیاه فلفل، استفاده از اسیدآسکوربیک و کلسیم تأثیر مثبت قابل توجهی در اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون داشته است (Barzegar *et al.*, 2018). بررسی حاضر نشان داد که اسید قابل تیتراسیون هیچ تفاوت معنی‌داری بین سطوح کلسیم‌کلرید نشان نداد. بااین‌حال، سطوح بالاتر باعث کاهش جزئی در اسید قابل تیتراسیون شد (شکل ۳) و الگوی مشابهی از نتایج توسط مازومدر و همکاران (Mazumder *et al.*, 2021) به‌دست آمد که بیان داشتند، کلسیم‌کلرید دو درصد به‌طور مؤثر اسیدیته میوه‌های گوجه فرنگی را کاهش داد که نشان‌دهنده کاهش نرخ تنفس است. گزارش شده است که استفاده از کلسیم‌کلرید ۰/۵ و ۱/۵ درصد بیشترین مقدار اسیدیته را در میوه کنار هندی (*Ziziphus mauritiana*) نشان دادند (Bandari *et al.*, 2018).

ویتامین ث

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارهای اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید و زمان برداشت از نظر میزان ویتامین ث وجود داشت (جدول ۳). با توجه به نتایج، از نظر مقدار ویتامین ث بین میوه‌های شاهد تیمار نشده در دو مرحله برداشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی تیمار با اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید باعث افزایش معنی‌دار ویتامین ث در میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمزرنگ گردید (شکل ۴). محلول-پاشی اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم ۰/۹ در میوه‌های برداشت شده در مرحله قرمزرنگ به‌ترتیب باعث افزایش ۵۳/۷ و ۵۶/۲ درصد محتوای ویتامین ث در مقایسه با میوه‌های قرمز و نارنجی گیاهان شاهد گردید (شکل ۴).

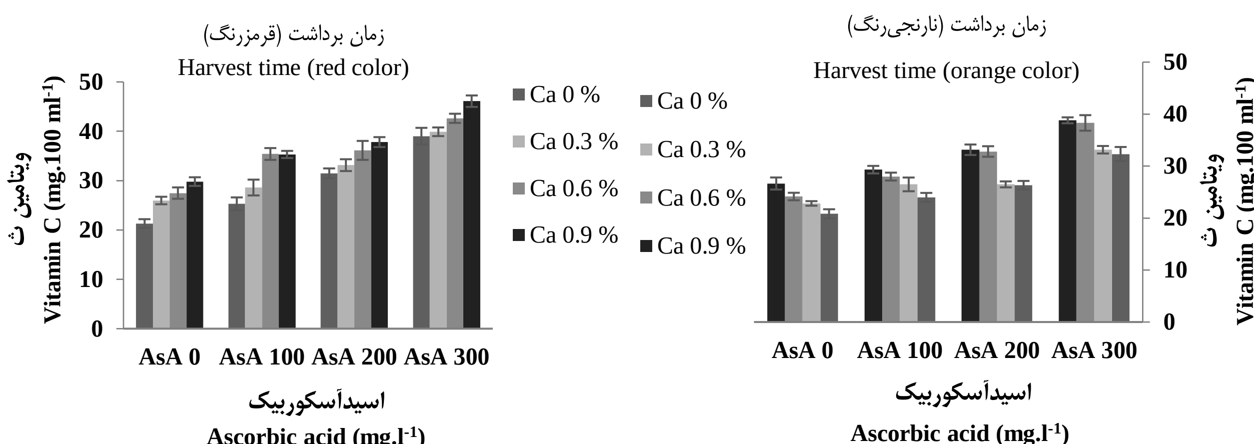
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک روی برخی صفات کیفی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Table 3- ANOVA for the effect of foliar application of calcium chloride and ascorbic acid on some qualitative traits of tomato fruits harvested at two red and orange stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ویتامین ث Vitamin C	فلاونوئید Flavonoid	فنل کل Total phenol	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant capacity
بلوک Block	2	32.75	0.055	8.59	11.19
اسیدآسکوربیک Ascorbic acid (AsA)	3	198.86**	3.38**	16.64*	105.21**
کلسیم‌کلرید Calcium chloride (Ca)	3	155.11**	3.71**	35.82*	56.02**
زمان برداشت Harvest time	1	57.36**	8.70**	25.48**	3.027**
اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید AsA × Ca	9	175.68**	5.087**	28.70**	32.40*
اسیدآسکوربیک × زمان برداشت AsA × harvest time	3	54.81**	2.23**	44.66**	16.43**
کلسیم‌کلرید × زمان برداشت Ca × harvest time	3	1.73*	0.157*	6.27**	35.70**
اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید × زمان برداشت AsA × Ca × harvesting time	9	91.44**	6.76**	24.91**	53.42**
خطای کرت اصلی Main plot error	62	2.53	0.074	0.827	2.032
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	5.30	7.99	4.85	6.0007

ns،* و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ٤- اثر محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید بر مقدار ویتامین ث میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 4- The effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) and calcium chloride (Ca) on vitamin C content of tomato fruits harvested at two red and orange stages (DMRT, $p\leq 0.05$)

ویتامین ث جزء مواد آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی در گیاه است که نسبت به دیگر مواد آنتی‌اکسیدانی به‌دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه می‌باشند. این ویتامین در مدت رسیدگی میوه و سبزی بر اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز و آسکوربیک اکسیداز تجزیه شده و مقدار آن کاهش می‌یابد (Wang *et al.*, 2013). تیمار کلسیم موجب حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث، فنل و فلاونوئید کل می‌شود. تیمار کلسیم با کاهش تولید و تخریب رادیکال‌های آزاد باعث حفظ مواد آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث در ازگیل ژاپنی نسبت به شاهد شده است (Akhtar *et al.*, 2010). خانی و همکاران (Khani *et al.*, 2019) گزارش کردند که کاربرد لاکتات کلسیم ۱/۵ گرم در لیتر، باعث افزایش ویتامین ث در کاهو رقم (رد نیو فایر) شده است. طبق آزمایشات به‌دست آمده، میزان ویتامین ث در فلفل با تیمار محلول‌پاشی کلسیم افزایش یافت (Barzegar *et al.*, 2018). در تحقیقی، مقدار ویتامین ث در میوه‌های گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با کلسیم‌کلرید ۱/۵ درصد، در مقایسه با غلظت‌های بالاتر و پایین‌تر کلسیم‌کلرید و شاهد افزایش یافت (Mazumder *et al.*, 2021). اسیدآسکوربیک به‌عنوان یک ترکیب‌آلی و آنتی‌اکسیدان، یک ویتامین ضروری است که می‌تواند از میوه‌ها و سبزی‌ها حاصل شود. نتایج حاصل با نتایج دیگر پژوهش‌ها مطابقت دارد، آن‌ها گزارش کردند که کاربرد اسیدآسکوربیک به‌طور معنی‌داری مقدار ویتامین ث را در میوه آلو افزایش داد (Liu *et al.*, 2014). گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی اسیدآسکوربیک، مقدار ویتامین ث را در فلفل‌دلمه‌ای افزایش داد (Mohammed., 2013). همچنین گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر و گیاهان شاهد، مقدار ویتامین ث را در فلفل‌دلمه‌ای افزایش داد (Fateh *et al.*, 2019).

محتوای فنل و فلاونوئید کل

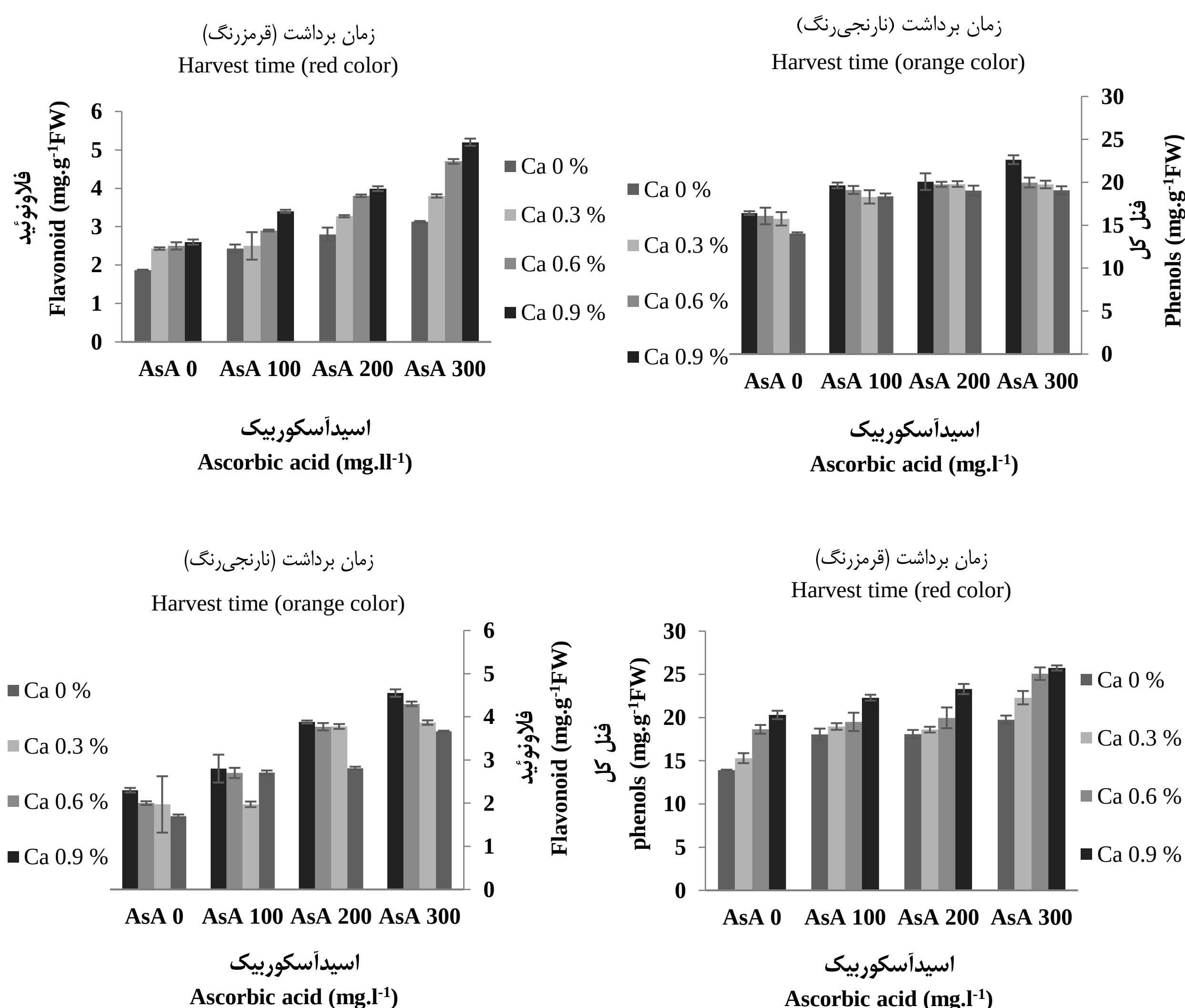
نتایج به‌دست آمده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک و زمان براشت از نظر مقدار فنل و فلاونوئید مشاهده شد (جدول ۳). مقدار فنل کل و فلاونوئید در میوه‌های قرمزرنگ تفاوت معنی‌داری با میوه‌های نارنجی نداشت و محلول‌پاشی برگی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید موجب افزایش محتوای فنل و فلاونوئید در میوه‌ها شدند (شکل ۵). بیشترین مقدار فنل (۲۵/۷۴ و ۲۵/۰۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) و فلاونوئید (۵/۲ و ۴/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) در میوه‌های قرمزرنگ تیمار شده با اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ و ۰/۶ درصد حاصل شد، به‌طوری‌که موجب افزایش ۴۵ درصدی محتوای فنل و ۶۵ درصدی محتوای فلاونوئید در مقایسه با میوه‌های قرمز شاهد شدند (شکل ۵).

میوه‌ها و سبزی‌ها منبع بسیار عالی از مواد آنتی‌اکسیدانی مانند فنل و فلاونوئید هستند (Takahashi & Badger., 2011). ترکیبات فنلی به‌دلیل نقش آن‌ها در کیفیت تغذیه‌ای میوه‌ها و سبزیجات مانند رنگ، تلخی و طعم مهم هستند (Vinson *et al.*, 2001). نتایج این پژوهش با نتایج مازومدر و همکاران (Mazumder *et al.*, 2021) تطابق دارد که گزارش کردند مقدار ترکیبات فنولیک کل در گوجه‌فرنگی با توسعه بلوغ میوه از مرحله سبز بالغ تا قرمزرنگ افزایش یافت و کاربرد کلسیم‌کلرید دو درصد در مقایسه با غلظت‌های پایین‌تر باعث افزایش محتوای ترکیبات فنلی شد. کلسیم با حفظ استحکام دیواره سلولی و کاهش رادیکال‌های آزاد باعث کاهش اکسیداسیون فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌شود (Kou *et al.*, 2015). افزایش محتوای فنل کل و فلاونوئیدها در میوه محلول‌پاشی شده با اسیدآسکوربیک

۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، می‌تواند به نقش اسیدآسکوربیک به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان در غلظت بـالا مـرتبط باشد (Youwei & Yinzhe, 2013). مقدار فلاونوئید در میوه‌های نارس به‌مراتب بیشتر از مقدار آن در میوه‌های کاملاً رسیده است (Ainuddin & Hajilo, 2016).

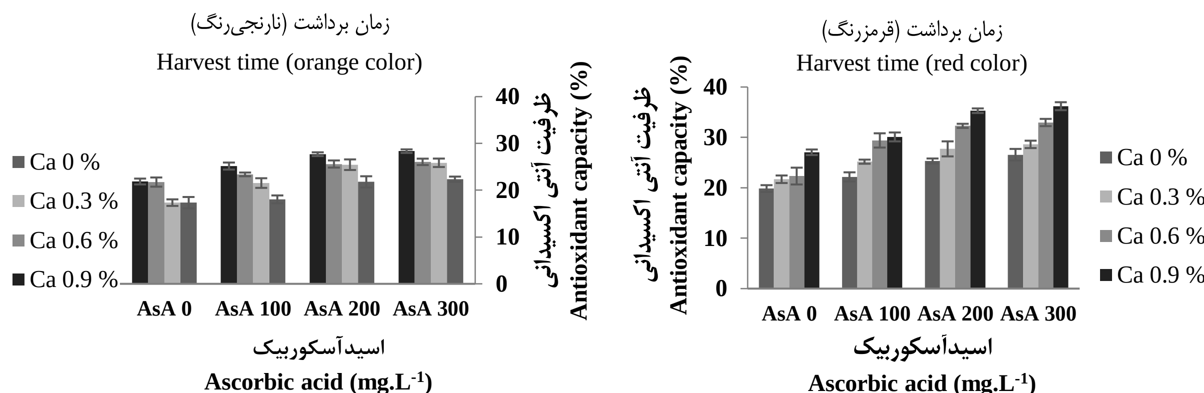
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) برگ

با توجه به نتایج، برهم‌کنش تیمارهای اسیدآسکوربیک، کلسیم‌کلرید و زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی داشتند (جدول ۳). ظرفیت آنتی‌اکسـیدانی میوه‌هـای قرمزرنـگ بیشـتر از میوه‌هـای نارنجی‌رنگ بود. همچنین کاربرد برگی اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید منجر به افزایش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شـد (شـکل ۶). بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه (۳۶/۲ و ۳۵/۳ درصـد) بـه‌ترتیب در محلول‌پاشـی اسیدآسـکوربیک ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گـرم در لیتـر و کلسـیم‌کلرید ۰/۹ درصـد در میوه‌هـای قرمزرنـگ مشـاهده شـد کـه به‌ترتیب باعث افزایش ۴۵/۳ و ۴۳/۹ درصد ظرفیـت آنتـی‌اکسـیدانی میوه در مقایسه با میوه‌های قرمز شاهد شد (شکل ۶).



شکل ۵- اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید بر محتوای فنل و فلاونوئید کل میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 5- The interaction effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) ×calcium chloride (Ca) on the total phenol and flavonoid contents of tomato fruits harvested at two red and orange stages (DMRT, $p\leq 0.05$)



شکل ٦- اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک × کلسیم‌کلرید بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های گوجه‌فرنگی برداشت شده در دو مرحله قرمز و نارنجی‌رنگ

Figure 6- The interaction effect of foliar spraying of ascorbic acid (AsA) ×calcium chloride (Ca) on the antioxidant capacity of tomato fruits harvested at two red and orange stages (DMRT, $p\leq 0.05$)

رابطه‌ای مثبت و قوی بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فلاونوئید و فنل کل و ویتامین‌ث گزارش شده است که به نظر می‌رسد در بسیاری از گونه‌های گیاهی این رابطه برقرار باشد (Farhoudi *et al*., 2017). میوه‌های خربزه درختی (*Carica papaya* L.) تیمار شده با کلسیم، بالاترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد نشان دادند (Madani *et al*., 2014). در گیاهان گوجه‌فرنگی محلول‌پاشی شده با کلسیم‌کلرید دو درصد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه نسبت به شاهد و غلظت‌های پایین‌تر افزایش معنی‌داری نشان داد (Mazumder *et al*., 2021). نتایج این آزمایش با نتایج خانی و همکاران (Khani *et al*., 2019) هم‌خوانی دارد که بیان داشتند، کاربرد کلسیم فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهو را افزایش داد. در بین آنتی‌اکسیدان‌ها، اسیدسیتریک و اسیدآسکوربیک در میوه‌ها به‌صورت گسترده به‌منظور جلوگیری از فرآیند قهوه‌ای شدن و کاهش جمعیت میکروب‌ها استفاده می‌شود (Jalili Marandi & Shafaei, 2015). اسیدآسکوربیک از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی با وزن مولکولی پایین است که در فرآیندهای رشدی و نموی گیاه نقش بارزی بر عهده دارد (Wang *et al*., 2013). تیمار میوه‌های توت‌فرنگی، سیب و هلو با اسیدآسکوربیک باعث افزایش ترکیبات فنلی و ظرفیت جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن شد (Rababah *et al*., 2005). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، کاربرد کلسیم‌کلرید و اسیدآسکوربیک با افزایش محتوای فنل کل فلاونوئید و ویتامین ث منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، شاخص‌های کیفی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند. اثر برهم‌کنش اسیدآسکوربیک و کلسیم‌کلرید به‌خصوص در غلظت‌های بالاتر باعث افزایش سفتی بافت میوه، مواد جامد محلول، ویتامین ث و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش اسیدیته و در نتیجه، باعث افزایش اسید قابل تیتراسیون شد. کاربرد کلسیم به‌طور معنی‌داری سفتی بافت میوه را بهبود بخشید و بیشترین سفتی در میوه‌های نارنجی‌رنگ در زمان برداشت مشاهده شد. بنابراین، با توجه به نتایج، کاربرد اسیدآسکوربیک ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلسیم‌کلرید ۰/۹ درصد جهت بهبود رشد، کیفیت، شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد پیشنهاد می‌گردد.

References

1- Ainuddin, M.S., & Hajilo, J. (2016). Effect of post-harvest application of methyl jasmonat on qualitative traits and storage life of strawberry cv. ‘Camarosa’. *Journal of Food Industry Research*, *26*(2), 287-286. (In Persian with English abstract)

2- Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42(1), 181-188.

3- Ashibur Rahman, M., Zakaria, M., Baset Mia, M.A., & Sanaullah Biswas, M.D. (2021) Ascorbic acid influences on growth and yield of tomato. *Annals of Bangladesh Agriculture*, *25*(1), 55-65. https://doi.org/10.3329/aba.v25i1.58155

4- Bandari, F.S., Rastegar, S., & Ghasemi, M. (2018). The effect of preharvest application of calcium chloride, putrescine and salicylic acid on some quality and quantity characters of Hindi ber (*Ziziphus mauritiana*

khormaee). *Journal of Horticulture Science*, *32*(2), 227-237. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i2.58482
5- Barzegar, T., Fateh, M., & Razavi, F. (2018). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae*, *241*, 293-303. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011
6- Buczkowska H., Michalojc, Z., & Nurzynska-Wierdak, R. (2016). Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *40*(2), 222-228. https://doi.org/10.3906/tar-1501-56
7- Cheng, H.M., Koutsidis, G., Lodge, J.K., Ashor, A., Siervo, M., & Lara, J. (2017). Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*, *257*, 100-108. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.009
8- Cooper, T., Gargiulo, S., Streif, J., & Retamales, J. (2007). Effect of calcium content and calcium application on softening of Hayward kiwifruit. *Acta Horticulturae*, *753*, 297-304. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.753.37
9- Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *131*, 422–427. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074
10- Elahviren Osalu, A., Farrokhzad, A.R., & Asghari, M.R. (2016). Effect of foliar spray with ascorbic acid on some qualitative characteristics and improving color of apple fruit (*Malus domestica* cv. Red Spur). *Plant Productions*, *39*(3), 113-125. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12062
11- El-Banna, E.A., & Abd, E.S.H. (2006). Effect of foliar application with organic compounds on growth yield and tubers quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science Mansoura University*, *31*(2), 1165-1173. https://doi.org/10.21608/jssae.2006.236943
12- El-Katatny, M.H., & Emam, A.S. (2012). Control of postharvest tomato rot by spore suspension and antifungal metabolites of *Trichoderma harzianum*. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *2021*, 1505-1528.
13- El-Shazly, S.M., Eisa, A.M., Moatamed, A. M.H., & Kotb, H.R.M. (2013). Effect of some agro-chemicals preharvest foliar application on yield and fruit quality of “swelling“ peach trees. *Alexandria Journal of Agricultural Research 58*(3), 219-229.
14- Esfahani, Z., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nikbakht, J. (2018). Effects of foliar application of Megafol on yield, fruit quality and water use efficiency of tomato Cv. Rio Grande under water deficit stress. *Journal of Crops Improvement*, *19*(4), 995-1009. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.210332.1472
15- Farhoudi, R., Mehrnia, M.A., & Lee, D.J. (2017). Antioxidant activities and bioactive compounds of five Jalopeno pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Natural Product Research*, *6*, 1–4. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1410801
16- Fateh, M., Barzegar, T., & Razavi, F. (2019). The effect of foliar application of ascorbic acid and calcium lactate on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. *Journal of Horticulture Science*, *33*(1), 79-87. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i1.70145
17- Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontier in Plant Science*, *9*, 2006. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006
18- Hafez, O.M., Hamouda, H.A., & Abd- El- Mageed, M.A. (2010). Effect of calcium and some antioxidants treatments on storability of "Le- Conte" pear fruits and its volatile components. *Nature and Science*, *8*(5), 109-126.
19- Jalili Marandi, R. (2012). *Postharvest Physiology (Handling and Storage of Fruits, Vegetables and Ornamental Plants)*. Publishers Jihad Urmia University, Urmia, Iran. (2nd Ed.). p 276.
20- Jalili Marandi, R., & Shafaei, Z. (2015). Effect of postharvest treatments of citric acid and salicylic acid on quality attributes of pear cv. Sardrod fruit during storage. *Journal of Plant Productions*, *38*(1), 131-143. https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11137
21- Kacjan, M.N., Gašperlin, L., Abram, V., Budič, M., & Vidrih, R. (2011). Quality parameters and total phenolic content in tomato fruits regarding cultivar and microclimatic conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *35*, 185-194. https://doi.org/10.3906/tar-0910-499
22- Kaijv, M., Sheng, L., & Chao, C. (2006). Antioxidation of flavonoids of green rhizome. *Food Science and Technology*, *27*, 110-115.
23- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, *34*(1), 11-24. https://doi.org/10.13128/ahsc-8252
24- Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2019). Effect of foliar spray of calcium lactate on physiological characteristics, antioxidant activity and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under deficit irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(3), 649-665. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.259323.1456

25- Kou, L. (2015). Effects of pre- and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science*, *50*(12), 1801-1808. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801
26- Kou, L., Yang, T., Liu, X., & Luo, Y. (2015). Effects of pre-and postharvest calcium treatments on shelf life and postharvest quality of broccoli microgreens. *Horticultural Science*, *50*(12), 1801-1808. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.12.1801
27- Liu, K., Yuan, C., Chen, Y., Li, H., & Liu, J. (2014). Combined effects of ascorbic acid and chitosan on the quality maintenance and shelf life of plums. *Scientia Horticulturae, 176*, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.027
28- Madani, B., Muda Mohamed, M.T., Biggs, A.R., Kadir, J., Awang, Y., Tayebimeigooni, A., & Shojaei, T.R. (2014). Effect of pre-harvest calcium chloride applications on fruit calcium level and post-harvest anthracnose disease of papaya. *Crop Protection*, *55*, 55–60. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.009
29- Mazumder, M.N.N., Misran, A., Ding, P., Wahab, P.E.M., & Mohamad, A. (2021). Preharvest foliar spray of calcium chloride on growth, yield, quality, and shelf life extension of different Lowland tomato varieties in Malaysia. *Horticulturae*, *7*(11), 466. https://doi.org/10.3390/horticulturae7110466
30- Minutolo, M., Chiaiese, P., Di Matteo, A., Errico, A., & Corrado, G. (2020). Accumulation of ascorbic acid in tomato cell culture: Influence of the genotype, source explant and time of *in vitro* cultivation. *Antioxidants*, *9*(3), 222. https://doi.org/10.3390/antiox9030222
31- Mohammed, G.H. (2013). Effect of seamino and ascorbic acid on growth, yield and fruits quality of pepper (*Capsicum annuum* L.). *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, *17*(2), 9-16.
32- Mostofi, Y., & Najafi, F. (2014). Analytical laboratory methods in horticultural sciences. Tehran University Press, Tehran, Iran. 136 p. (In Persian)
33- Najafi, R., & Barzegar, T. (2022). The effect of foliar spray of different calcium sources on antioxidant properties and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* cv. botrytis 'Romanesco'). *Journal of Horticultural Science*, *36*(3), 577-589. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2021.70150.1047
34- Niazi, H., Barzegar, T., Ghahremani, Z., & Nadirkhanlou, L. (2021). Effect of light duration and calcium on growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* cv. New Red Fire). *Journal of Vegetables Sciences*, *2*, 111-131. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/iuvs.2021.521006.1135
35- Nizamani, S., Khaskheli, A.A., Jiskani, A.M., Khaskheli, S.A., Khaskheli, A.J., Poussio, G.B., Jamro, H.R., & Khaskheli, M.I. (2020). Isolation and identification of the fungi causing tomato fruit rot disease in the vicinity of Tandojam, Sindh. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, *269*, 186-190. https://doi.org/10.18805/ag.D-269
36- Patane, C., Pellegrino, A., & Di Silvestro, I. (2018). Effects of calcium carbonate application on physiology, yield and quality of field-grown tomatoes in a semi-arid Mediterranean climate. *Crop and Pasture Science*, *69*, 411-418. https://doi.org/10.1071/CP17424
37- Rab, A., & Haq, I.U. (2012). Foliar application of calcium chloride and borax influences plant growth, yield, and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *36*(6), 695-701. https://doi.org/10.3906/tar-1112-7
38- Rababah, T., Ereifej, K., & Howard, L. (2005). Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins and color in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*, 4444-4447. https://doi.org/10.1021/jf0502810
39- Rubio, J.S., Garcia-Sanchez, F., Rubio, F., & Martinez, V. (2009). Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. *Journal of Horticultural Sciences*, *119*, 79–87. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.009
40- Sabir, F.K., & Agar, I.T. (2011). Influence of different concentrations of 1-methylcyclopropene on the quality of tomato harvested at different maturity stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *34*, 111-118. https://doi.org/10.1002/jsfa.4529
41- Sarwat, M., Ahmad, P., Nabi, G., & Hu, X. (2013). Ca^{2+} signals: The versatile decoders of environmental cues. *Critical Reviews in Biotechnololgy*, *33*, 97-109. https://doi.org/10.3109/07388551.2012.672398
42- Singh, R., Sharma, R.R., & Tyagi, S.K. (2007). Per-harvest foliar application of calcium and boron influences physiological disorder, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, *112*, 215-220. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.019
43- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Enology and Viticulture*, *16*, 144-15.
44- Smirnoff, N. (2011). Vitamin C, the metabolism and functions of ascorbic acid in plants. *Advances in Botanical Research*, *59*, 107-77. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385853-5.00003-9
45- Takahashi, S., & Badger, M.R. (2011). Photoprotection in plants: A new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, *16*(1), 53-60. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001

46- Tolasa, M., Gedamu, F., & Woldetsadik, K. (2021). Impacts of harvesting stages and pre-storage treatments on shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Cogent Food and Agriculture*, *7*(1), 1863620. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1863620
47- Vinson, J.A., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *49*, 5315–5321. https://doi.org/10.1021/jf0009293
48- Wang, J., Zhang, Z., & Huang, R. (2013). Regulation of ascorbic acid synthesis in plants. *Plant Signaling and Behavior*, *8*(6), e24536-3. https://doi.org/10.4161/psb.24536
49- Youwei, Y., & Yinzhe, R. (2013). Grape preservation using chitosan combined with β-cyclodextrin. *International Journal of Agronomy*, *4*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2013/209235